

## II-400 – ESTUDO COMPARATIVO DA SECAGEM NATURAL DE LODOS DE ETEs SUBMETIDOS AO PROCESSO DE CENTRIFUGAÇÃO

**Sara Rachel Orsi Moretto** <sup>(1)</sup>

Bacharel em Física pela PUC-SP. Mestre em Eletrônica e Telecomunicações/Materiais pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Professora Adjunta da Universidade Tecnológica Federal do Paraná– UTFPR.

**Sebastião Ribeiro Junior** <sup>(2)</sup>

Graduado em Tecnologia em Eletrotécnica pela UTFPR. Mestre e doutor em Engenharia Elétrica e Informática Industrial pela UTFPR. Professor da UFPR.

**Walmor Cardoso Godoi** <sup>(3)</sup>

Licenciado em Física pela UFPR. Mestre e doutor em Engenharia de Materiais pelo Programa de pós-graduação em Engenharia da UFPR. Professor adjunto na Universidade Tecnológica Federal, do Paraná - UTFPR.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: UTFPR. Av. Sete de Setembro 3165 – Centro - Curitiba – PR – CEP: 80230-901 – Brasil – Tel: 55 (41) 3310-4667- e-mail: [rachel@utfpr.edu.br](mailto:rachel@utfpr.edu.br)

### RESUMO

A fim de melhor gerir os espaços físicos tão disputados de uma ETE e de diminuir os custos de transporte para a destinação final do lodo, é importante que se conheça o menor volume atingido por uma massa úmida, e o teor de sólidos totais ou umidade gravimétrica correspondente, conforme esta massa perde umidade por secagem natural. Por outro lado, conhecendo-se a densidade do lodo para um determinado teor de sólidos ou umidade, pode-se conhecer a massa úmida ou seca de lodo que ocupa um determinado volume. O objetivo do presente trabalho é comparar a secagem natural de lodos gerados por reatores UASB em duas ETEs, após terem sido sujeitos ao desaguamento mecânico por centrifuga. Para tanto, curvas da variação relativa de massa, da variação relativa de volume, e curvas da densidade destes lodos, foram levantadas durante a secagem.

Embora os lodos estudados sejam semelhantes, assim como o processo de tratamento a que se sujeitaram, as curvas de variação relativa de volume e densidade, durante a secagem destes lodos, foram diferentes, muito provavelmente, devido às diferenças das condições climáticas, no período que estes experimentos foram realizados. Curvas da variação relativa de volume destes lodos, em função da umidade gravimétrica, revelam valores de umidades gravimétricas (ou teores de sólidos totais), onde, a partir dos quais, o volume deixa de contrair em decorrência da perda de umidade.

**PALAVRAS-CHAVE:** Secagem de lodos, contração de lodos, densidade de lodos.

### INTRODUÇÃO

A quantificação do volume de lodo em uma estação de tratamento de esgoto (ETE) é importante em diversas etapas do tratamento do mesmo, como por exemplo, no descarte, após desaguamento, e na disposição final. Lodos que sofreram desaguamento podem permanecer por alguns meses em pátios de cura e secagem para a redução de patógenos em níveis aceitáveis, quando estes lodos são destinados à agricultura e/ou para a redução complementar de volume e massa, pela secagem natural (MIKI et al., 2002). Os custos de manuseio e transporte, para a destinação final, são normalmente calculados com base no volume da massa úmida. No entanto, muitas vezes se faz o cálculo com base na massa seca do lodo, para efeito comparativo entre as alternativas existentes (FERNANDES *et al.*, 2001). Assim, a fim de melhor gerir os espaços físicos tão disputados de uma ETE e de diminuir os custos de transporte para a destinação final do lodo, é importante que se conheça o menor volume atingido por uma massa úmida, e o teor de sólidos totais ou umidade gravimétrica correspondente, conforme esta massa perde umidade por secagem natural. Por outro lado, conhecendo-se a densidade do lodo para um determinado teor de sólidos ou umidade, pode-se conhecer a massa úmida ou seca de lodo que ocupa um determinado volume. Entretanto, nas ETEs no Brasil, estas medidas, quando realizadas, são elaboradas de uma maneira bastante informal.

Trabalhos publicados no passado (MORETTO *et al.*, 2012; MORETTO *et al.*, 2013) levantaram as curvas da variação relativa do volume e da densidade de lodos, em função do teor de sólidos totais ou da umidade

gravimétrica destes lodos, que são gerados na ETE CIC Xisto, Curitiba – PR. Esta ETE realiza tratamento de esgotos através de reatores UASB, cujo lodo descartado é desaguado mecanicamente por centrífuga. As amostras utilizadas para estes trabalhos foram coletadas em janeiro de 2012.

Mais recentemente, em novembro de 2015, novas amostras foram extraídas e acondicionadas de forma similar às amostras utilizadas nas pesquisas anteriores, com o intuito de realizar as curvas citadas acima. Porém, estas amostras foram obtidas na ETE Fazenda Rio Grande, município de Fazenda Rio Grande – PR. A referida ETE também realiza tratamento de esgoto através de reatores UASB, cujo lodo descartado é, igualmente, desaguado mecanicamente por centrífuga.

O objetivo geral do presente trabalho é comparar a secagem natural de lodos gerados por reatores UASB, após terem sido sujeitos ao desaguamento mecânico por centrífuga. Os objetivos específicos consistem em levantar curvas da variação relativa de massa, da variação relativa de volume, e curvas da densidade destes lodos, em função do teor de sólidos totais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

A coleta das amostras, tanto no caso das amostras mais recentes, quanto no caso das anteriores, foi realizada com uma bandeja (50cm x 35cm x 10cm) colocada bem próxima à saída da centrífuga, onde deixava-se o lodo cair sobre ela, até que grande parte da bandeja fosse preenchida. Anéis de alumínio, com volumes (em torno de 55 cm<sup>3</sup>) e massas aferidas, e com uma das extremidades cortantes, eram introduzidos manualmente na massa de lodo pelo lado cortante, até que o lodo extravasasse pela extremidade superior. A massa ao redor dos anéis era retirada com uma espátula, e esta mesma espátula era introduzida por baixo dos anéis, a fim de retirá-los da bandeja. Com uma espátula cortante, a massa de lodo que extravasou a extremidade superior de cada um dos anéis era retirada e uma lâmina de vidro (9cm x 9cm) era colocada nesta extremidade a fim de vedá-la. Os anéis preenchidos eram virados e limpos, e suas massas medidas em balança digital.

Após a coleta, estas amostras foram transferidas e dispostas em local coberto e arejado, numa condição similar à que ocorre na secagem de lodos, nas referidas ETEs. No caso das amostras mais recentes, o local coberto e arejado era nas dependências dos Institutos Lactec, e no caso das anteriores, nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – campus Curitiba.

No experimento mais recente (2015), foram analisadas 4 amostras em onze dias, distribuídos num período de 39 dias (desde 13/11/2015 até 16/12/2015). Foram realizadas medidas da massa em balança digital (resolução 0,0001g), e volume, utilizando um paquímetro digital para as medidas de diâmetro e altura destas amostras, resultando num total de 44 procedimentos de medidas de massa e volume para o conjunto.

Os teores de sólidos totais das amostras, no momento das análises, foram determinados através das medidas de massa destas amostras, e através da medida de massa seca destas, após secagem em estufa por 24h, ocorrida apenas no final do processo.

No experimento anterior (2012), tomavam-se aleatoriamente, a cada dia, 4 ou 3 amostras de um conjunto inicial de 40 amostras, onde medidas de massa (resolução 0,01g), e volume através de paquímetro digital, eram realizadas para estas amostras. As análises ocorreram diariamente, durante 11 dias seguidos (de 29/01 a 08/02 de 2012), resultando em 43 procedimentos de medidas de massa e volume. Fez-se também, apenas para as amostras coletadas em 2012, medidas de volume, pela impermeabilização destas amostras por parafina, e imersão em recipiente com álcool etílico, a partir do terceiro dia de análise. Estas medidas não foram utilizadas, uma vez que as mesmas tentem a ser subestimadas, principalmente depois que as amostras atingem teor de sólidos totais 65% (MORETTO *et al.*, 2012; MORETTO *et al.*, 2013).

No caso do experimento anterior, o teor de sólidos totais, para o conjunto de amostras retiradas de uma bandeja (10 unidades por vez), no momento da coleta, foi determinado através da média realizada sobre os teores de sólidos medidos para quatro pequenas amostras extraídas aleatoriamente da bandeja. Conhecendo-se a massa de cada uma das amostras extraídas com os anéis, e conhecendo-se o teor de sólidos totais atribuído ao conjunto, no momento da amostragem, pôde-se calcular a massa de sólidos contida em cada uma destas amostras, e assim determinar o teor de sólidos totais destas amostras, em qualquer momento da análise.

Adotou-se tal procedimento, uma vez que após medidas de massa e volume pelo paquímetro, estas amostras eram envoltas em parafina (a partir do terceiro dia de análise), para medida alternativa de volume, o que inviabilizaria a secagem natural ou em estufa destas amostras, a posteriori.

As medidas de densidade das amostras foram baseadas na metodologia para solos, para obtenção da densidade aparente pelo Método do Anel Volumétrico (EMBRAPA, 1997), com algumas adaptações, uma vez que se mediu a densidade do lodo úmido.

## RESULTADOS OBTIDOS

A Figura 1, referente ao experimento mais recente (novembro e dezembro de 2015), mostra o gráfico da variação relativa de massa  $\left(\frac{m}{m_0}\right)$ , ou seja, a razão entre a massa das amostras no momento da amostragem ( $m$ ) e a massa inicial das mesmas, no momento da coleta, ( $m_0$ ), em função do teor de sólidos totais ( $TS$ ) destas amostras. Mostra também o gráfico da variação relativa de volume  $\left(\frac{V}{V_0}\right)_{paq}$ , que corresponde à razão entre o volume das amostras no momento da amostragem ( $V$ ) e a volume inicial destas, no momento da coleta ( $V_0$ ), lembrando que estes volumes foram determinados através do paquímetro, e o gráfico da densidade destas amostras ( $D_{paq}$ ) (volumes determinados pelo paquímetro), em função do TS.

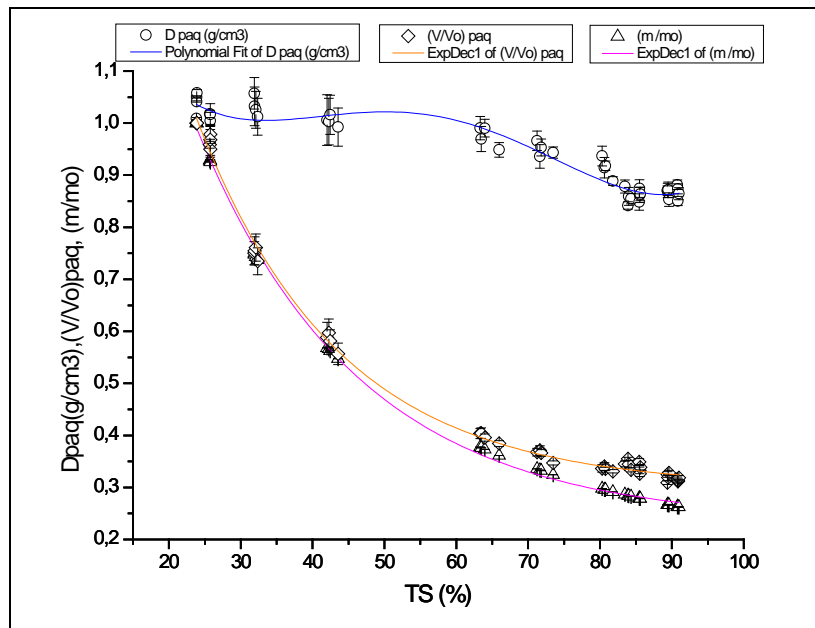


Figura 1: Curvas da  $D_{paq}$  ( $g/cm^3$ ),  $\left(\frac{V}{V_0}\right)_{paq}$  e  $\left(\frac{m}{m_0}\right)$  para as amostras mais recentes.

A Figura 2 mostra as mesmas curvas contidas na Figura 1, porém para as amostras do experimento anterior (janeiro a fevereiro de 2012), lembrando que os volumes destas amostras também foram determinados pelo paquímetro. Utilizou-se nestas relações o símbolo *ant* (de anterior), para diferencia-las das relações obtidas no experimento mais recente.

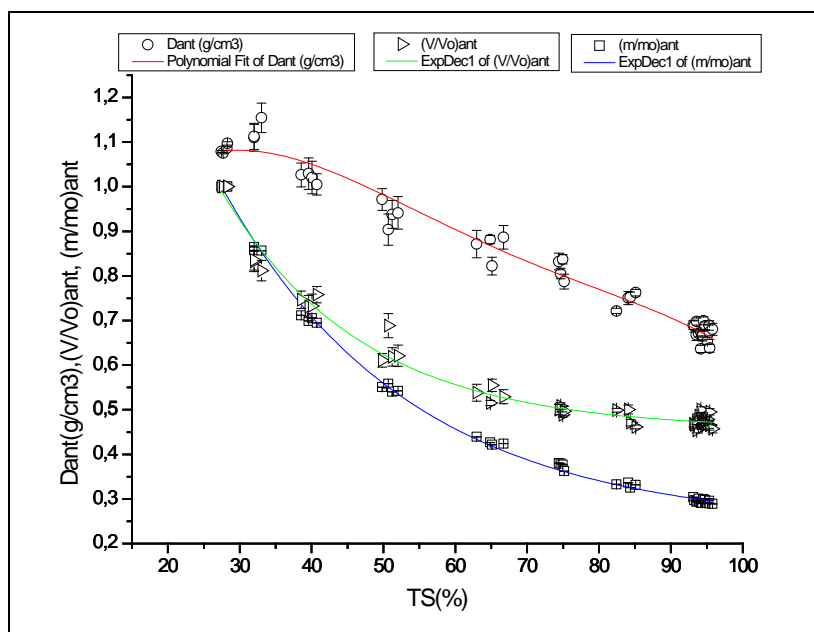


Figura 2: Curvas da  $D_{ant}$  ( $g/cm^3$ ),  $\left(\frac{V}{V_o}\right)_{ant}$  e  $\left(\frac{m}{m_o}\right)_{ant}$  para as amostras anteriores.

No sentido de tornar mais claras as diferenças ocorridas nestes dois processos de secagem, as Figuras 3 (a) e 3 (b) apresentam, respectivamente, as curvas de variações relativas de massa  $\left(\frac{m}{m_o}\right)$  e volume  $\left(\frac{V}{V_o}\right)$ , em função do teor de sólidos totais, para as amostras mais recentes e a anteriores, e a Figura 4 mostra a curva de densidade, em função do teor de sólidos totais, para estas amostras.

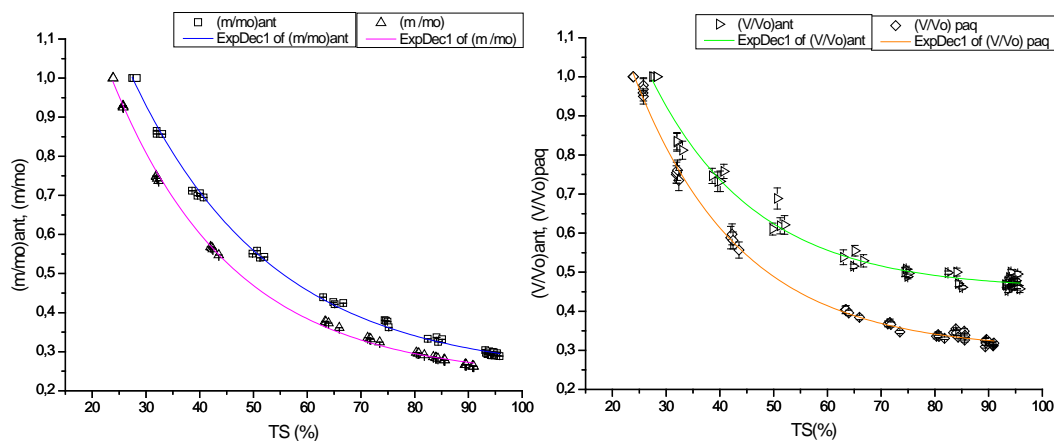


Figura 3: (a) Curvas da relação  $\left(\frac{m}{m_o}\right)$  para as amostras mais recentes e as anteriores. (b) Curvas da relação  $\left(\frac{V}{V_o}\right)$  para as amostras mais recentes e as anteriores.

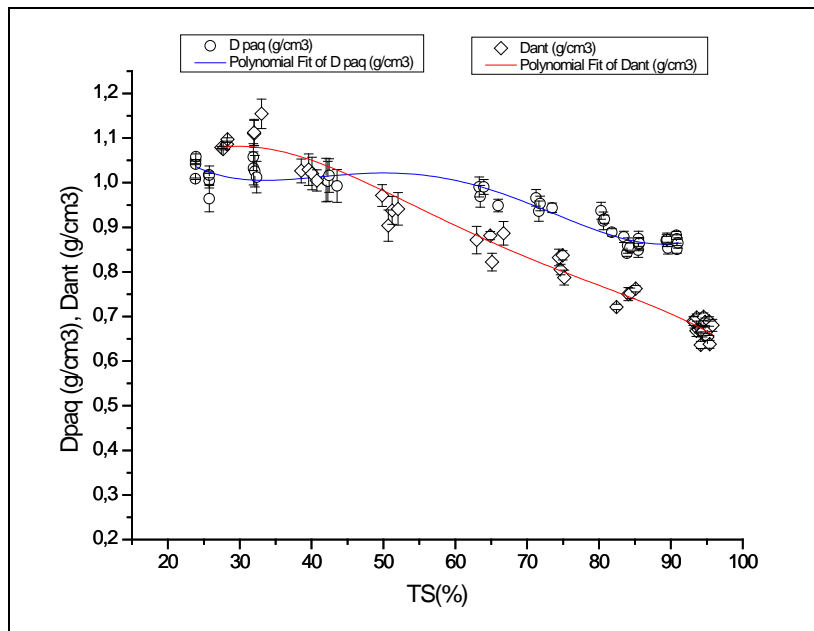


Figura 4: Curvas das densidades ( $g/cm^3$ ) para as amostras mais recentes e as anteriores.

A Figura 5 mostra as curvas das variações relativas de volumes para as amostras mais recentes e as anteriores, só que agora em função da umidade gravimétrica destas amostras,  $U$ , definida como a razão entre a massa de água e a massa de sólidos da amostra.

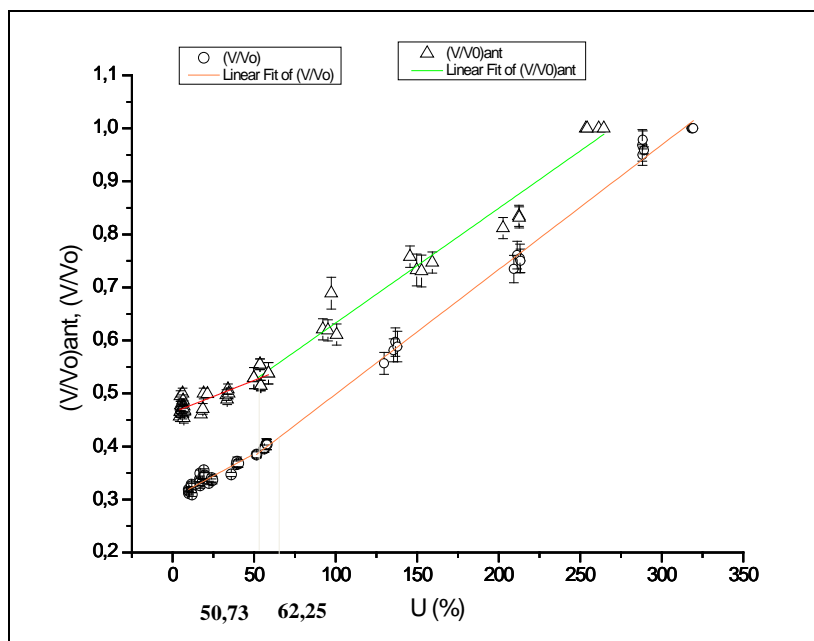


Figura 5: Curvas da relação  $\left(\frac{V}{V_0}\right)_{ant}$  para as amostras mais recentes e as anteriores, em função da umidade gravimétrica.

As Figuras 6 e 7 mostram, respectivamente, valores médios diários da temperatura, umidade relativa e precipitação, na cidade de Curitiba, no período do experimento mais recente (desde 13/11/2015 até 16/12/2015) e no período do experimento anterior (de 29/01 a 08/02 de 2012 (SIMEPAR, 2017).

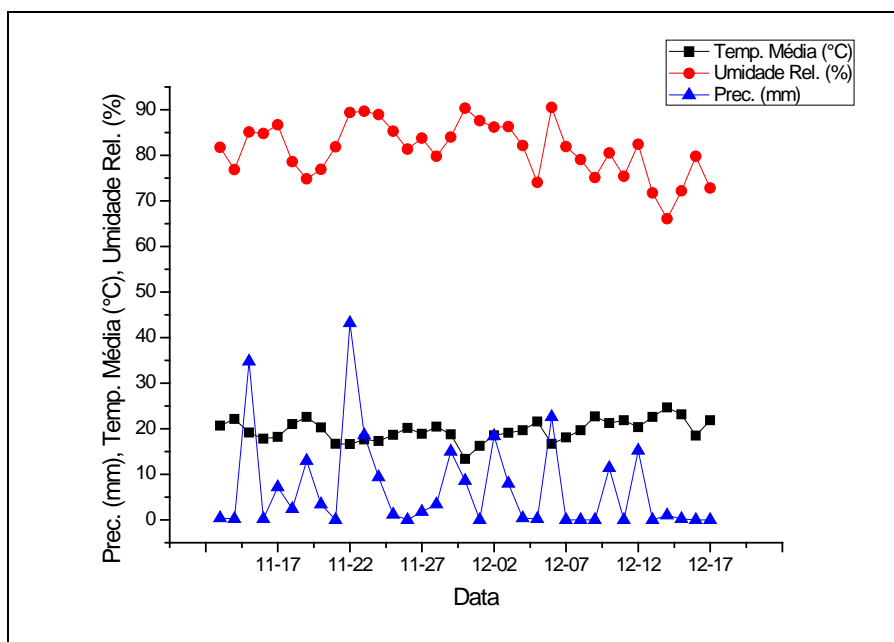


Figura 6: Temperatura média (°C), umidade relativa (%) e a precipitação (mm) (valores médios diários) na cidade de Curitiba, no período do experimento mais recente (desde 13/11/2015 até 16/12/2015).

Fonte: SIMEPAR, 2017.

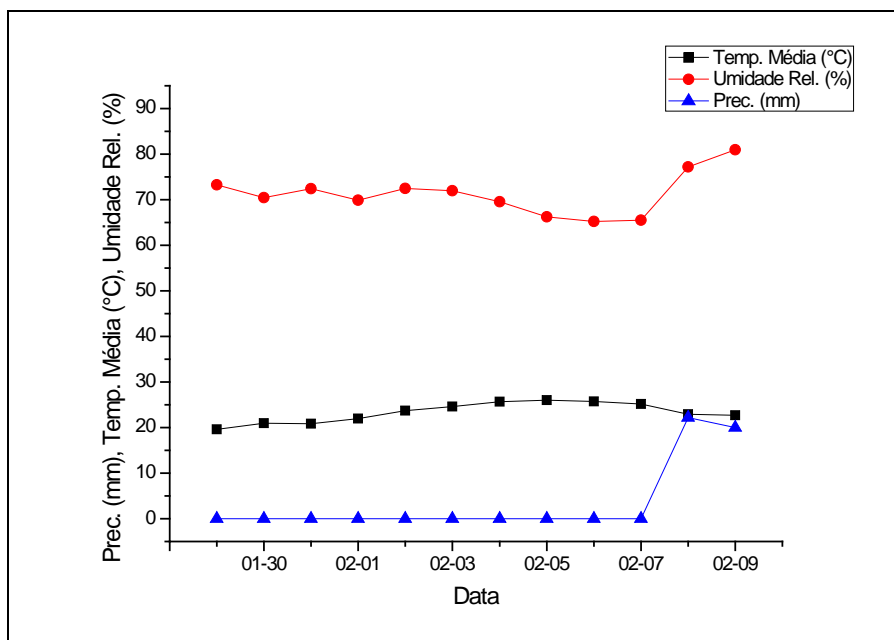


Figura 7: Temperatura média (°C), umidade relativa (%) e a precipitação (mm) (valores médios diários) na cidade de Curitiba, no período do experimento anterior (de 29/01 a 08/02 de 2012). Fonte:

SIMEPAR, 2017.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Dos gráficos da Figura 3(a), podem-se observar comportamentos das variações relativas de massa bem semelhantes, durante toda a secagem das amostras do experimento mais recente e das amostras do experimento anterior, uma vez que as curvas são praticamente paralelas. Observa-se ao longo do processo de secagem das amostras, que para iguais variações relativas de massa, as amostras mais recentes terão sempre teores de sólidos menores que os das amostras anteriores. Este fato é compreensível, uma vez que a densidade média inicial das amostras mais recentes ( $1,04 \text{ g/cm}^3$ ) é cerca de 5% menor que a densidade média inicial das amostras anteriores ( $1,09 \text{ g/cm}^3$ ), assim como o TS médio inicial das amostras mais recentes (23,89%) é cerca de 17% menor que o TS inicial das amostras anteriores (27,91%). O tempo total para ocorrer uma perda significativa de massa de água, por parte das amostras do experimento mais recente, é bem maior que o tempo para as amostras anteriores, muito provavelmente, devido à alta umidade do ar durante o período de secagem das amostras mais recentes. Estas atingem  $TS \cong 91\%$  após 39 dias, enquanto as anteriores atingem  $TS \cong 95\%$  em 10 dias.

Embora estas amostras tenham características bem parecidas, uma vez que resultam de tratamentos e de esgotos bem similares, as condições climáticas, durante a secagem das mesmas, foram bastante diferenciadas. O experimento mais recente ocorreu num período de menor temperatura, maior umidade relativa e maior precipitação, quando comparado com o experimento anterior. Os valores médios da temperatura, umidade relativa e precipitação, estendidos para estes períodos, são, respectivamente,  $19,62 \text{ }^\circ\text{C}$ , 81,24%, 6,83 mm (experimento mais recente) e  $23,32 \text{ }^\circ\text{C}$ , 71,26%, 2,02 mm (experimento anterior) (SIMEPAR, 2017).

Dentro do intervalo de teores de sólidos totais observado nos dois experimentos ( $\Delta TS \cong 67\%$ ), as variações relativas de massa, no final da secagem, são próximas (0,26 para as mais recentes e 0,29 para as anteriores), porém, conforme a Figura 3(b), no final da secagem, as amostras do experimento mais recente tiveram uma maior variação de volume que as do experimento anterior (a variação relativa de volume foi 0,32 para as mais recentes e 0,48 para as anteriores). Isto explica porque a densidade média das amostras mais recentes ( $0,87 \text{ g/cm}^3$ ) é maior que a densidade média das amostras anteriores ( $0,67 \text{ g/cm}^3$ ), no final do processo de secagem (Figura 4). Como o comportamento da variação relativa do volume para as amostras mais recentes é muito semelhante ao comportamento da variação relativa da massa destas amostras, até  $TS \cong 55\%$  (Figura 1), a densidade (Figura 1 e Figura 4) destas fica praticamente constante até este TS. A partir daí, a densidade reduz um pouco, uma vez que a massa decai um pouco mais que o. Para as amostras do experimento anterior, a variação da massa decai razoavelmente mais que a variação do volume (Figura 2), para TS acima de 35%, resultante em uma queda mais acentuada da densidade, a partir deste TS (Figura 2 e Figura 4).

Os gráficos da Figura 5 mostram uma redução abrupta da variação relativa de volume (redução da inclinação da reta) em  $U = 62,25\%$  ( $TS = 61,63\%$ ), para as amostras mais recentes, e em  $U = 50,73\%$  ( $TS = 66,34\%$ ), para as amostras do experimento anterior. Segundo a Física dos Solos, a partir destas umidades, denominadas limites de contração, o solo, ou lodo, no nosso caso, deixaria de contrair em virtude da perda de água, durante a secagem. Qualquer redução adicional de volume, a partir destas umidades, dependeria apenas da atração entre as partículas que compõe o solo, ou seja, dependeria das propriedades do solo em questão (LAL; SHUKLA, 2004). Estes valores encontrados dão um indicio importante sobre os valores da umidade gravimétrica ou do teor de sólidos totais, que devem ser atingidos num processo de secagem destes lodos, quando se vislumbra alcançar os menores volumes de resíduos, decorrentes deste processo.

## CONCLUSÃO

Embora os lodos estudados sejam semelhantes, assim como o processo de tratamento a que se sujeitaram, as curvas de variação relativa de volume e densidade, durante a secagem destes lodos, foram diferentes. Observa-se também um tempo muito maior para a secagem das amostras mais recentes (39 dias), que o tempo de secagem das amostras anteriores (10 dias), muito provavelmente, devido às diferenças das condições climáticas, no período que estes experimentos foram realizados. Curvas da variação relativa de volume destes lodos, em função da umidade gravimétrica, revelam valores de umidades gravimétricas (ou teores de sólidos totais), onde, a partir dos quais, o volume deixa de contrair em decorrência da perda de umidade.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. 2. ed. Centro Nacional de Pesquisas de Solos. Rio de Janeiro. 1997.
2. FERNANDES F.; LOPES D. D.; ANDREOLI C.V.; SILVA S.M.C.P. Avaliação de alternativas e gerenciamento do lodo na ETE. In: Lodo de esgotos: tratamento e disposição final. DESA-UFMD-SANEPAR. Belo Horizonte, 2001. vol. 6.
3. LAL R.; SHUKLA M. K. Principles of soil physics. New York. Marcel Dekker, Inc. 2004.
4. MIKI M. K.; ANDRIGUETI E. J., SOBRINHO P. A. Tratamento da fase sólida em estações de tratamento de esgotos. In: Biossólidos na agricultura. ABES, USP, ESALQ, UNESP, 2002.
5. MORETTO S. R. O.; PUPPI R. F. K.; PEGORINI E. S. Análise do comportamento da densidade do lodo de ETE sujeito à secagem natural após centrifugação. In: XXXIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Salvador. 2012.
6. MORETTO S. R. O.; KUVADA J. T.; PUPPI R. F. K.; PEGORINI E. S. Estudo da contração de lodos provenientes de digestão anaeróbia. In: 27º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Goiânia, 2013.
7. SIMPAR - SISTEMA METEOROLÓGICO DO PARANÁ. Dados fornecidos através de ofício e termo de compromisso. Maio 2017.